МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 621.9.06:628.5 10.23947/1992-5980-2017-17-1-92-98

Экспериментальные исследования спектров шума процесса шарико-стержневого упрочнения узлов колесных пар*

Н. И. Стуженко[1**]
[1] Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ, г. Шахты, Российская Федерация

Experimental studies on noise spectra of ball-rod hardening of wheel pair assemblies***

N. I. Stuzhenko[1**]
[1] Institute of Service and Business (DSTU branch), Shakhty, Russian Federation

Введение. В настоящее время обработка поверхностей катания колесных пар производится на специальных колесотокарных станках. Этот способ обеспечивает требуемую технологическую прочность поверхностей катания, но не обеспечивает упрочнение поверхности и, следовательно, не приводит к повышению износостойкости. Шарико-стержневое упрочнение (ШСУ) имеет большие преимущества как технологический процесс, в особенности для сложных геометрических поверхностей, а также позволяет обеспечить необходимые напряжения сжатия в поверхности упрочняемых изделий. Однако ШСУ имеет существенный недостаток с точки зрения повышенных уровней звукового давления, создаваемых в рабочей зоне операторов.
Материалы и методы. Экспериментальные исследования при ШСУ элементов узлов колесных пар проводились при нескольких технологических операциях. Обработка поверхностей катания выполнялась на колесотокарном станке, на котором вместо режущего инструмента устанавливались шарико-стержневые упрочнители. Упрочнение посадочных поверхностей осей колесных пар выполнялось на специальном осетокарном станке, на котором аналогичным образом вместо резцов устанавливались шарико-стержневые упрочнители. Упрочнение посадочной поверхности колеса выполнялось на токарно-карусельном станке. На всех вышеперечисленных станках измерялись октавные уровни звукового давления на холостом ходу и при реализации технологических процессов упрочнения. Это позволило определить вклад звукового излучения акустической подсистемы «упрочняемое изделие — ширико-стержневой упрочнитель» в звуковое поле, создаваемое общей акустической системой станков в рабочей зоне операторов.
Результаты исследования. Из-за высокой интенсивности излучаемой звуковой энергии оборудование устанавливалось в отдельных производственных помещениях, соразмерных с габаритами станков, что, в свою очередь, способствовало повышенной шумоактивности. Поэтому данные исследования актуальны для предприятий машиностроения и имеют как научный, так и практический интерес.

Introduction. Currently, wheel tread surfacing is implemented on special design wheel lathes. This method provides the desired technological strength of the wheel treads, but does not provide hard facing and, consequently, does not increase wear resistance. Ball-rod hardening (BRH) has great advantages as a process, especially for composite geometric surfaces; and besides, it enables the necessary compressive stresses in the surface of the hardenable products. However, it has a significant disadvantage in terms of the increased levels of the acoustic pressure in the operators' working area.
Materials and Methods. The experimental studies under BRH of the wheelpair assembly elements are carried out by several process steps. Wheel tread surfacing is performed on a special design wheel lathe on which ball-rod reinforcers are installed instead of a cutter. Hardening of the mounting surfaces of the wheelset axles is performed on a special axial lathe on which, in a similar manner, ball-rod reinforcers are installed instead of a cutter. Hardening of the wheel mounting surface is performed on a boring-and-turning mill. The octave sound pressure levels are measured on all of these lathes at idle and under the hardening process implementation. It allows determining the contribution of the sound radiation of the acoustic subsystem "hardenable product – ball-rod reinforcer" into the soundfield generated by a common lathe loudspeaker system in the operators' working area.
Research Results. Due to the high intensity of the radiant sound energy, the equipment is installed in separate facilities commensurable with the overall machine dimensions that consequently contributes to the increased noise activity. Therefore, the research data are of current interest for the enterprises of mechanical engineering, and they have both scholary interest and practical applicability.

[*] Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
** E-mail: n.stuzhenko@mail.ru
[**]The research is done within the frame of the independent R&D.

Обсуждения и заключение. Авторами отмечено, что данные, полученные при исследованиях на базе универсальных токарно-винторезных станков, т. е. на круглых деталях, носят частный характер и не применимы к такому сложному по геометрическим параметрам узлу, которым являются колесные пары подвижного состава и различных типов кранов. Проведенные авторами измерения показали, что при ШСУ уровни звукового давления превышают санитарные нормы на величину от 5 до 15 дБ высокочастотной части спектра 500–8000 Гц, т. е. в том диапазоне, в котором предельно-допустимые уровни не должны превышать 78–69 дБ.

Discussion and Conclusions. It should be noted that the data obtained on the regular engine lathes, i.e. on round work pieces, are a particular case and are not applicable to the assembly of such complex geometrics as wheelpairs of rolling stock and various types of cranes. The implemented measurements show that under BRH, sound pressure levels exceed health standards by 5 to 15 dB of the high-frequency part of 500-8000 Hz spectrum, i.e. in the range in which the maximum permissible levels should not exceed 78-69 dB.

Ключевые слова: шум, вибрация, шарико-стержневое упрочнение, колесные пары

Keywords: noise, vibration, ball-rod reinforcement, wheelsets.

Введение. Цель исследований заключалась в изучении закономерностей формирования спектров шума и вибрации процесса шарико-стержневого упрочнения элементов узла колесных пар. Цикл экспериментов включал: измерение уровней звукового давления и вибраций несущей системы специального колесотокарного станка, на котором выполнялось упрочнение поверхностей катания колес; измерение уровней звукового давления и вибраций несущей системы специального осетокарного станка, на котором выполнялось упрочнение посадочных поверхностей оси колесных пар; измерение уровней шума при упрочнении отверстий колес на токарно-карусельном станке.

При измерении шума и вибрации использовался измеритель «Экофизика» — многоканальная многофункциональная система, предназначенная для измерений динамических процессов, а также измеритель шума «ОКТАВА-101» и измеритель общей вибрации «ОКТАВА-101 ВМ» с погрешностью измерения ±8%.



Рис. 1. Приборы для измерения шума, общей и локальной вибрации

Fig. 1. Instruments for noise measurement, for whole-body and local vibration

Эксперименты проводились в соответствии с нормативными документами [1–9] организацией «Центр охраны труда и промышленной безопасности», которая имеет аккредитацию на право проведения данных работ. Спектр шума холостого режима колесотокарного станка продемонстрирован на рис. 2.

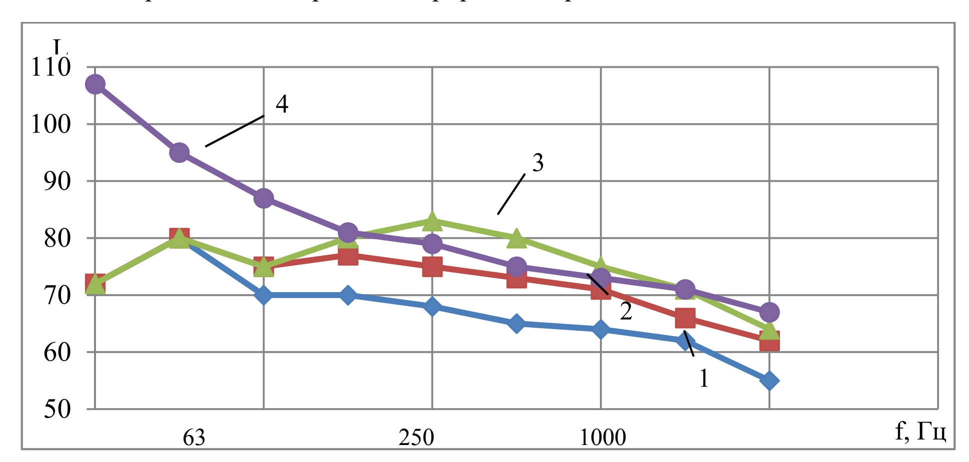


Рис. 2. Спектр шума колесотокарного станка на холостом ходу: 1 — уровень помех в производственном помещении; 2 — уровни звукового давления станка; 3 — уровни звукового давления компрессора; 4 — предельный спектр

Fig. 2. Noise spectrum of wheel lathe at idle: 1 - noise level in the working area; 2 - sound pressure levels of the lathe; 3 - sound pressure levels of the compressor; 4 - limitary spectrum

Фон помех имеет максимальное значение уровня во второй октаве со среднегеометрической частотой 63 Гц и в первой октаве со среднегеометрической частотой 31,5 Гц, при этом уровни звукового давления такие же, как и у самого станка. В указанных октавах уровни шума намного меньше предельно-допустимых значений. В остальных октавах уровни шумового фона помех существенно ниже, чем при холостом режиме станка. Фактически уровни звукового давления станка ниже предельно-допустимых величин во всем нормируемом частотном диапазоне. Уровни звукового давления в компрессоре превышают предельно-допустимые величины на частотах 500, 1000 и 2000 Гц на 4,5 и 2 дБ (соответственно), что и определяет необходимость разработки способов достижения санитарных норм шума в этом частотном диапазоне. Аналогичные результаты получены и на осетокарном станке (рис. 3).

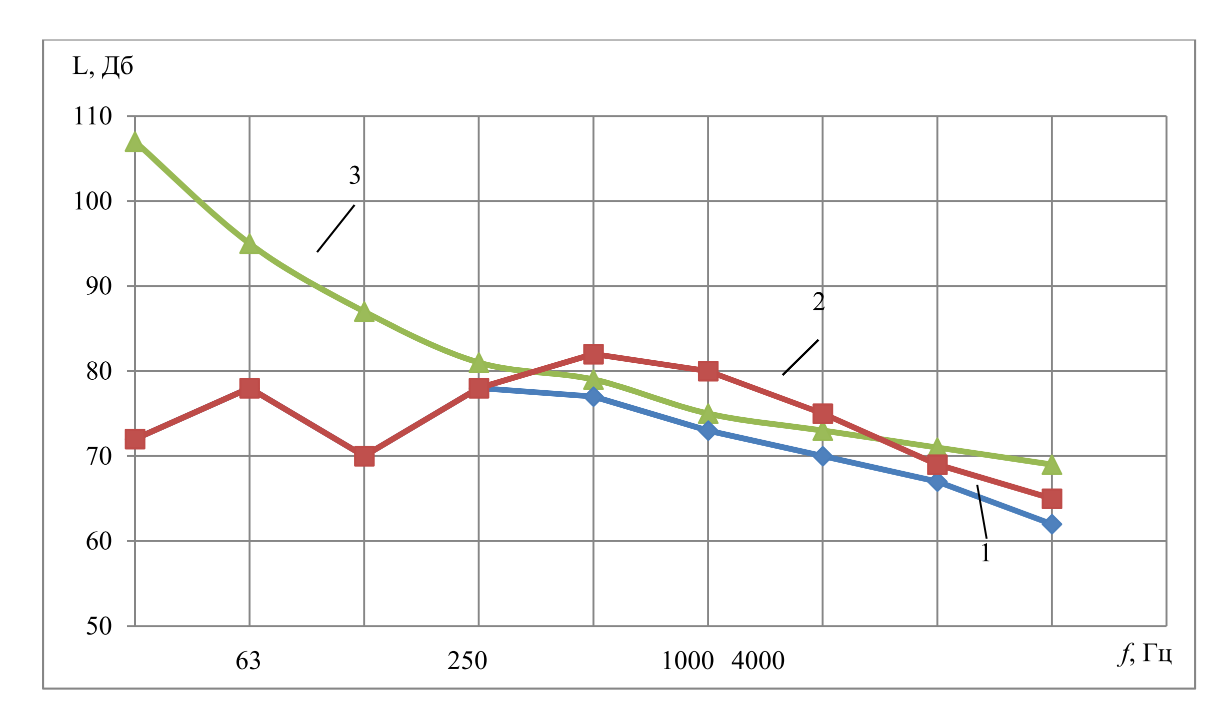


Рис. 3. Спектры шума холостого хода осетокарного станка:
1— шум станка; 2 — шум компрессора; 3 — предельный спектр

Fig. 3. Noise spectra of axial lathe idle:
1- lathe noise; 2 - compressor noise; 3 - limitary spectrum

Несмотря на то, что уровни звукового давления осетокарного станка на 1–2 дБ ниже, чем у компрессорного, по всему нормируемому частотному диапазону уровни звукового давления ниже предельно-допустимых величин. Такое влияние на уровни шума на рабочих местах оказывает компрессор.

Замеры уровней звукового давления в рабочей зоне токарно-карусельного станка также показали соответствие санитарным нормам шума и поэтому в данном разделе не приведены.

При всех видах упрочнения процесс ШСУ производился при постоянных значениях натяга 2,5 и 5 мм и частоте воздействия, равной 42 Гц. На всех типах станков вместо резцов устанавливались упрочнители. Упрочнение производилось на колесах с диаметрами 250, 500 и 800 мм и осях с диаметрами 70, 95, 140, 160, 200 мм.

Для анализа спектрального состава шума определялись расчетные значения собственных частот колебаний, численные значения которых приведены ниже. По результатам расчетов определялось количество собственных частот, попадающих в соответствующие октавы (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Количество собственных частот в октавных полосах
Eigenfrequency amount in octave band

Деталь	Размеры, мм	Ширина октавных полос, Гц								
		22,4–45	45–90	90–180	180–360	360–710	710–1400	1400–2800	2800–5600	5600–11200
Колесо, Д×Н	250×90							1	2	4
	350×95						1	2	2	7
	500×140					1	2	3	7	13
	600×160					1	2	4	7	14
	700×200					1	2	4	8	15
	800×200				1	1	2	4	8	17
Ось, *d*×*l*	70×2000	1		1	1	1	2	2	4	5
	35×2000		1		1	1	2	2	3	4
	140×2000		1		1	1	1	2	2	4
	160×2000						2	1	3	3
	200×2000			1		1	1	2	2	3

Спектры шума и вибрации при шарико-стержневом упрочнении колес приведены на рис. 4–6.

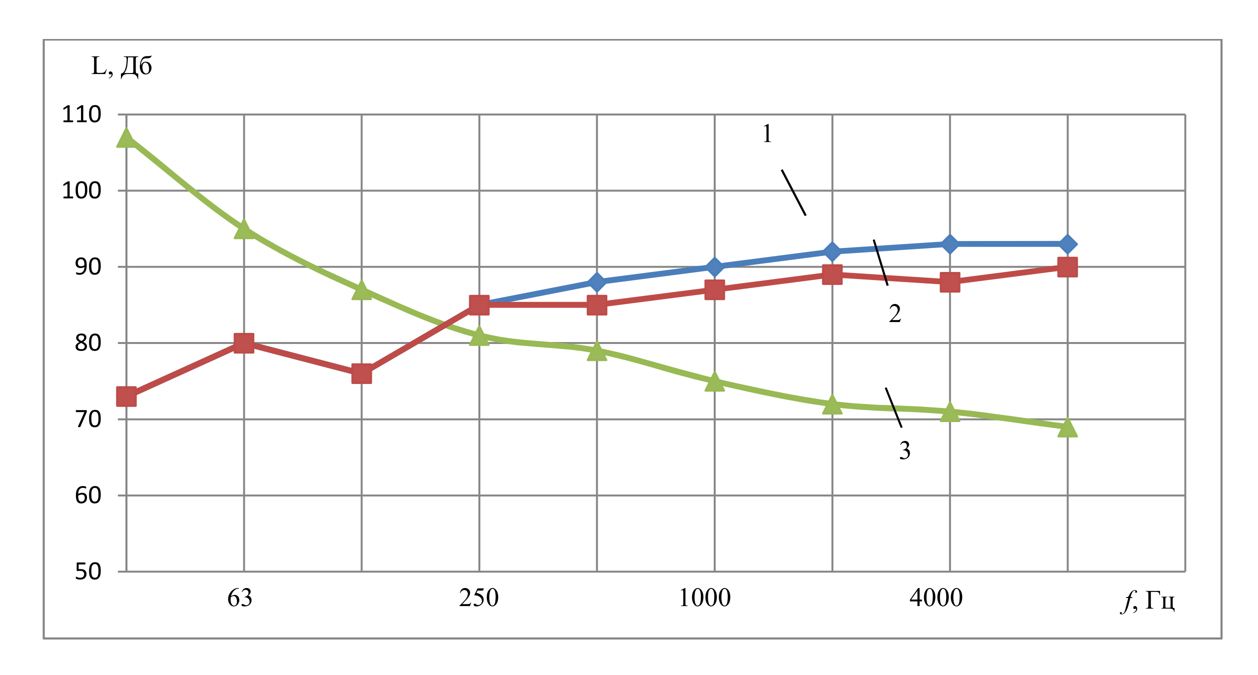


Рис. 4. Спектры шума при шарико-стержневом упрочнении колес диаметром 250 мм:
1 — натяг 2,5 мм; 2 — натяг 5 мм; 3 — предельный спектр

Fig. 4. Noise spectra under ball-rod hardening of wheel diameter in 250 mm:
1 — 2.5 mm preload; 2 — 5 mm preload; 3 — limitary spectrum

В отличие от спектра холостого хода станка, при упрочнении характер спектра претерпевает принципиальные изменения. Спектр имеет ярко выраженный высокочастотный характер. Предельно-допустимые уровни звукового давления превышаются в области частот от 250 до 8000 Гц. Можно предположить, что акустические характеристики в четвертой октаве (среднегеометрическая частота 250 Гц) формируются звуковым излучением компрессора, и при холостом ходе в рабочем режиме уровни звукового давления не изменяются. Максимальные уровни звукового давления создаются в диапазоне с шестой по девятую октавы, причем превышение над санитарными нормами составляет от 15 до 23 дБ.

Этот вывод подтверждается расчетами колес и осей колесных пар (см. табл). Действительно, именно в эти октавы и попадают собственные частоты колебаний колеса. Также можно предположить, что уровни звукового давления в пятой октаве (90дБ на среднегеометрической частоте 500 Гц) формируются звуковым излучением оси колесной пары.

В шестой — девятой октавах обращает на себя внимание тенденция увеличения уровней звукового давления (2–3 дБ на октаву). Подтверждением этому выводу является увеличение количества собственных частот колебаний в вышеуказанных октавах, на которых логарифмически суммируются уровни звукового давления. Увеличение натяга с 2,5 мм до 5 мм приводит к возрастанию уровней звукового давления на 3–5 дБ при неизменном характере спектра. Расчетное значение увеличения уровней звукового давления, определенное по результатам теоретических исследований, составляет 3 дБ, что подтверждается экспериментальными данными.

Измерения уровней звукового давления упрочняемых колес диаметров 500 и 800 мм показали идентичность в общих закономерностях формирования спектрального состава шума, включая и изменения уровней звукового давления на различных натягах. Поэтому на рис. 6 приведены спектры шума при величине натяга, равной 5 мм.

Спектры шума при упрочнении колес больших диаметров также являются высокочастотными, максимальные уровни звукового давления формируются в шестой — девятой октавах.

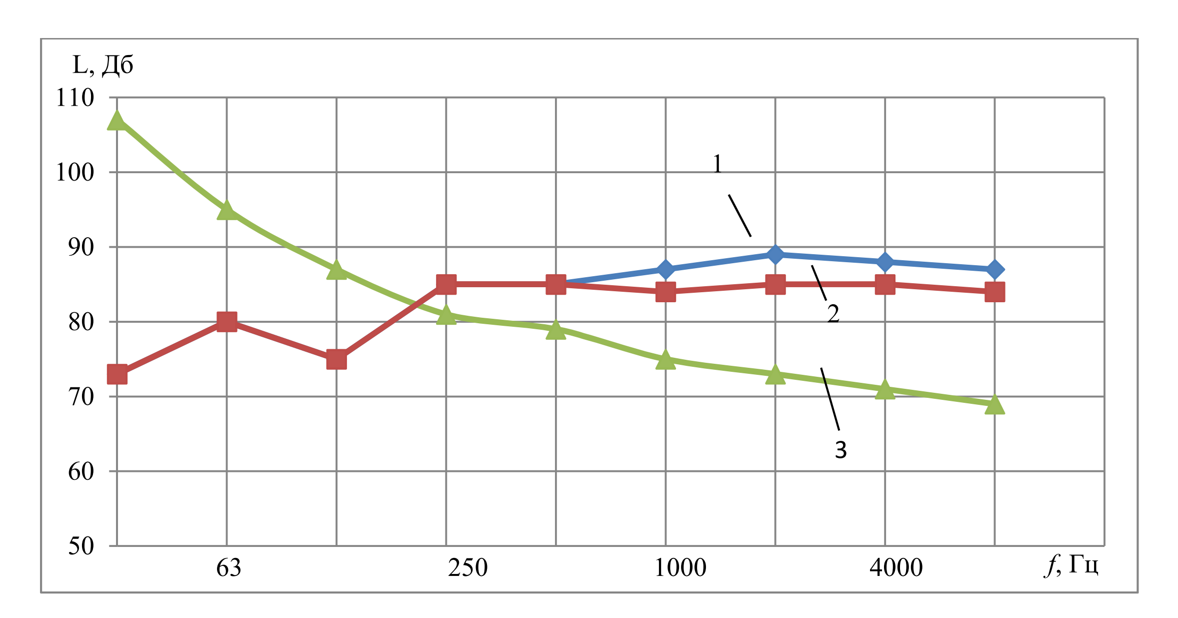


Рис. 5. Спектры шума при упрочнении колес:
1 — диаметром 500 мм; 2 — диаметром 800 мм; 3 — предельный спектр

Fig. 5. Noise spectra under hardening of wheels:
1 — 500 mm in diameter; 2 — 800 mm in diameter; 3 — limitary spectrum

К особенностям полученных экспериментально данных следует отнести уменьшение уровней звукового давления на 3–5 дБ при увеличении диаметров колес и «выравнивание» интенсивности излучаемой звуковой энергии в шестой — девятой октавах.

Первый вывод объясняется увеличением массы упрочняемых колес. Второй — смешением собственных частот колебаний при увеличении диаметров колес и большим количеством собственных частот, попадающих в шестую — девятую октавы. Эти данные также подтверждают результаты теоретических исследований о закономерностях формирования акустических характеристик при упрочнении колес.

Выводы. Выявлена взаимосвязь между спектральным составом уровней звукового давления, технологическими параметрами процесса шарико-стержневого упрочнения, геометрическими размерами упрочняемых изделий. Идентифицированы источники шума, создающие превышения октавных уровней звукового давления над нормативными величинами. Установлено, что в общей акустической системе колесотокарного, осетокарного и токарно-карусельного станка подсистема «упрочняемая деталь — упрочнитель» определяет интенсивность звукового излучения. Результаты экспериментальных исследований подтвердили теоретические выводы о закономерностях шумообразования при шарико-стержневом упрочнении объектов исследования.

Библиографический список

1. Шумомеры. Часть 1. Технические требования : ГОСТ 17187–2010 [Электронный ресурс] / ГОСТы, СНиПы, СанПиНы и др. Образовательный ресурс. — Режим доступа : http://www.g-ost.ru/51675.html (дата обращения : 01.12.16).

2. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 января 2014 г. № 33н «Об утверждении методики проведения специальной оценки условий труда» [Электронный ресурс] / Российская газета. — Режим доступа : https://rg.ru/2014/03/28/usloviya-dok.html (дата обращения : 01.12.16).

3. Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах : ГОСТ Р ИСО 9612–2013 [Электронный ресурс] / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : http: // docs.cntd.ru /document/1200107818.html (дата обращения : 01.12.16).

4. Руководство ИСО/МЭК 98–3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения : ГОСТ Р 54500.3–2011 [Электронный ресурс] // Электрон. фонд правовой и норматив.-техн. документации / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/1200088855 (дата обращения : 01.12.16).

5. О специальной оценке условий труда [Электронный ресурс] : федеральный закон № 426–ФЗ от 28 декабря 2013 г. / Государственная Дума РФ // Электрон. фонд правовой и норматив.-техн. документации / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : http://www.rg.ru/2013/ 12/30/ocenka-dok.html (дата обращения : 01.12.16).

6. Чубарь, Е. П. Приоритетное направление охраны труда в современных условиях — аттестация рабочих мест / Е. П. Чубарь, В. М. Гарин, И. Г. Переверзов, Т. А. Финоченко // Актуальные проблемы развития транспорта России : сб. трудов междунар. науч. конф. — Ростов-на-Дону, 2004. — С. 328–330.

7. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [Электронный ресурс] / Гарант. — Режим доступа : http://base.garant.ru/4174553/ (дата обращения : 01.12.16).

8. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. СН 2.2.4/2.1.8.566–96 [Электронный ресурс] // Электрон. фонд правовой и норматив.-техн. документации / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/90170328.html (дата обращения : 01.12.16).

9. Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки. СН 2.2.4/2.1.8.566–96 [Электронный ресурс] // Электрон. фонд правовой и норматив.-техн. документации / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/1200029239.html (дата обращения : 01.12.16).

References

1. Shumomery. Chast' 1. Tekhnicheskie trebovaniya: GOST 17187–2010. [Sound level meters. Part 1. Technical requirements: GOST 17187 – 2010.] Available at: http://www.g-ost.ru/51675.html (accessed: 01.12.16) (in Russian).

2. Prikaz Ministerstva truda i sotsial'noy zashchity RF ot 24 yanvarya 2014 g. № 33n «Ob utverzhdenii metodiki provedeniya spetsial'noy otsenki usloviy truda». [Order of Ministry of Labor and Social Protection of Russian Federation on January 24, 2014 , no. 33n “On approval of procedure of special assessment of labour conditions”.] Available at: https://rg.ru/2014/03/28/usloviya-dok.html (accessed: 01.12.16) (in Russian).

3. Akustika. Izmereniya shuma dlya otsenki ego vozdeystviya na chelove-ka. Metod izmereniy na rabochikh mestakh: GOST R ISO 9612–2013. [Acoustics. Noise measurement for the purpose of evaluating human exposure to noise. Method of measurements at workplaces: GOST R ISO 9612–2013.] Available at: http: // docs.cntd.ru /document/1200107818.html (accessed: 01.12.16) (in Russian).

4. Rukovodstvo ISO/MEK 98–3:2008. Neopredelennost' izmereniya. Chast' 3. Rukovodstvo po vyrazheniyu neopredelennosti izmereniya: GOST R 54500.3–2011. [ISO / IEC Guide 98-3: 2008. Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement: GOST R 54500.3–2011.] Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200088855 (accessed: 01.12.16) (in Russian).

5. O spetsial'noy otsenke usloviy truda: federal'nyy zakon № 426–FZ ot 28 dekabrya 2013 g. Gosudarstvennaya Duma RF. [On special assessment of labour conditions: Federal Law no. 426-FZ of December 28, 2013. State Duma of the Russian Federation.] Available at: http://www.rg.ru/2013/ 12/30/ocenka-dok.html (accessed: 01.12.16) (in Russian).

6. Chubar, E.P., Garin, V.M., Pereverzov, I.G., Finochenko, T.A. Prioritetnoe napravlenie okhrany truda v sovremennykh usloviyakh — attestatsiya rabochikh mest. [Priority area of occupational safety under modern conditions — standardization of workplaces.] Aktual'nye problemy razvitiya transporta Rossii: sb. trudov mezhdunar. nauch. konf. [Major problems of development of transport of Russia: Proc. Int. Sci. Conf.] Rostov-on-Don, 2004, pp. 328–330 (in Russian).

7. Shum na rabochikh mestakh, v pomeshcheniyakh zhilykh, obshchestvennykh zdaniy i na territorii zhiloy zastroyki. SN 2.2.4/2.1.8.562–96. [Noise at workplaces, in residential and public buildings, and in residential areas. Sanitary Norms 2.2.4 / 2.1.8.562-96.] Available at: http://base.garant.ru/4174553/ (accessed: 01.12.16) (in Russian).

8. Proizvodstvennaya vibratsiya, vibratsiya v pomeshcheniyakh zhilykh i ob-shchestvennykh zdaniy. SN 2.2.4/2.1.8.566–96. [Industrial vibration, vibration in residential and public buildings. Sanitary Norms 2.2.4 / 2.1.8.566-96.] Available at: http://docs.cntd.ru/document/90170328.html (accessed: 01.12.16) (in Russian).

9. Infrazvuk na rabochikh mestakh, v zhilykh i obshchestvennykh pomeshcheniyakh i na territorii zhiloy zastroyki. SN 2.2.4/2.1.8.566–96. [Infrasound at workplaces, in residential and public buildings, and in residential areas. Sanitary Norms 2.2.4 / 2.1.8.566-96.] Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200029239.html (accessed: 01.12.16) (in Russian).

Поступила в редакцию 18.10.2016
Сдана в редакцию 18.10.2016
Запланирована в номер 11.01.2017

Received 18.10.2016
Submitted 18.10.2016
Scheduled in the issue 11.01.2017

Об авторе:

Стуженко Наталья Игоревна, старший преподаватель кафедры «Строительство и техносферная безопасность», Института сферы обслуживания и предпринимательства филиала Донского государственного технического университета (РФ, г. Шахты, ул. Шевченко 147), ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7724-3156, n.stuzhenko@mail.ru

Author:

Stuzhenko, Natalia I., senior lecturer of the Construction and Technosphere Safety Department, Institute of Service and Business (DSTU branch), (RF, Shakhty, Shevchenko St., 147), ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7724-3156, n.stuzhenko@mail.ru